

# CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA EN UNA INSTALACIÓN EÓLICA

## Objetivo del trabajo.

Calcular la potencia eléctrica generada y el coste que tendría un aerogenerador dependiendo de su altura. Generalmente la velocidad del viento aumenta con la altura, por lo que al aumentar la altura de las torres que soportan las hélices aumenta la potencia generada, pero al mismo tiempo aumenta el coste de la instalación. Por tanto hay que escoger finalmente una altura que permita que al vender la electricidad generada se amortizen los costes de instalación en un tiempo razonable.

## Presentación del trabajo.

El trabajo se presentará escrito a máquina o impresora de ordenador. Constará al menos de los siguientes apartados:

- Breve introducción ( unas 3 páginas ) sobre la Energía Eólica
- Descripción del cálculo que se pretende hacer y del procedimiento empleado.
- Resultados obtenidos
- Discusión de los resultados

Para cualquier dato que se emplee en el trabajo se deberá citar de donde se obtuvo.

## Procedimiento

Los datos y expresiones teóricas que se necesiten para resolver el problema se obtendrán fundamentalmente de búsquedas en Internet, de la biblioteca de la Universidad y de consultas con el profesor.

Algunas direcciones útiles para iniciar la búsqueda son:

[web.jet.es/plopezp/viento/mol-mode.htm](http://web.jet.es/plopezp/viento/mol-mode.htm)

Molinos de viento modernos

[www.nrel.gov](http://www.nrel.gov)

National Renewable Energy Lab

[rotor.fb12.tu-berlin.de/engwindkraft.html](http://rotor.fb12.tu-berlin.de/engwindkraft.html)

Universidad de Berlín

[www.awea.org](http://www.awea.org)

American Wind Energy Association

[www.windpower.dk](http://www.windpower.dk)

Danish Windturbine Manufactures Association

[idae.qsystems.es](http://idae.qsystems.es)

Instituto para la diversificación y ahorro de la energía.

[www.inm.es](http://www.inm.es)

Instituto meteorológico.

## Guía del cálculo

El viento que llega a las hélices de un aerogenerador lleva una energía cinética por unidad de tiempo igual

a:  $\frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} v^2$  donde  $v$  es la velocidad del

viento y el caudal másico es equivalente a:

$$\frac{dm}{dt} = \rho \frac{dVol}{dt} = \rho A \frac{dx}{dt} = \rho A v, \quad \text{donde } \rho \text{ es la}$$

densidad del aire y  $A$  la superficie barrida por las aspas de la hélice. Por tanto tenemos en definitiva que:

$$\frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

La potencia eléctrica generada vendrá entonces dada por:

$$P_{el} = \eta \frac{dE_c}{dt} = \eta \frac{1}{2} \rho A v^3$$

siendo  $\eta$  la eficiencia del modelo de hélice elegido, que supondremos del 40 %.

También tendremos en cuenta que la velocidad del viento en una zona varía con la altura sobre la superficie de la tierra o del mar, de acuerdo con la expresión:

$$v_h = v_{10} \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha \quad \text{donde } v_h \text{ es la velocidad a la altura 'h' y } v_{10} \text{ es la velocidad a 10 m de}$$

altura. El exponente  $\alpha$  varía según el terreno y le supondremos en este trabajo un valor de 0,2.

El viento además genera una fuerza neta horizontal que podemos considerar aplicada sobre el extremo superior de la torre de sustentación. Fuerza que se puede estimar como:

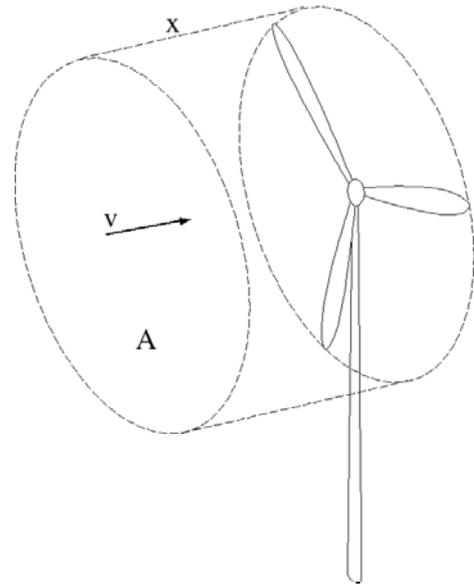
$$F = \frac{1}{20} \rho A v^2.$$

Entonces esta fuerza generará un momento flexor sobre la torre, y podemos obtener la sección mínima que debe tener la torre para un cierto esfuerzo máximo admisible, según la expresión:

$$r^3 = \frac{4Fh}{\pi \sigma_{adm}} \quad \text{donde } r \text{ es el radio de la torre, considerada cilíndrica, y } h \text{ su altura. Como}$$

esfuerzo máximo admisible podemos tomar  $\sigma_{adm} = 1000 \text{ kp/cm}^2$ .

Por tanto para cualquier velocidad del viento y altura de la torre podemos calcular la potencia generada y la anchura mínima que debería tener dicha torre. En este trabajo consideraremos aerogeneradores con una superficie barrida por las hélices de 4 m de



diámetro. La densidad del aire depende del valor diario de la presión y temperatura de la atmósfera, pero tomaremos un valor medio  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ . Para el cálculo de la potencia consideraremos velocidades medias del viento ( a 10 m de altura ) de 40 km/h , mientras que para el cálculo del radio de la torre usaremos valores máximos de velocidad del viento ( a 10 m) de 120 km/h.

El trabajo consistirá entonces en calcular la potencia eléctrica generada y las dimensiones de la torre para una serie de alturas de la misma: 10 m, 20 m, 30m, ...hasta 100 m. A continuación se calculará el tiempo de funcionamiento del aerogenerador necesario para amortizar el coste de la instalación. Para ello supondremos que el kWh de electricidad se vende a 0,05 €, y que las hélices y maquinaria del aerogenerador cuestan unos 2000 € mientras que una torre de 10 m cuesta otros 2000 € y este coste de la torre es proporcional a su volumen.